

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju urbanisasi yang semakin cepat disertai pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat turut berkontribusi pada bertambahnya volume limbah cair domestik yang dihasilkan. Limbah jenis ini mengandung berbagai polutan, mulai dari bahan organik, nutrisi seperti nitrogen dan fosfor, hingga patogen yang dapat mengancam kualitas sumber air, kesehatan masyarakat, serta keseimbangan ekosistem perairan. Penanganan limbah cair domestik yang tidak memadai berisiko memicu eutrofikasi, penurunan kualitas air, dan munculnya berbagai penyakit yang ditularkan melalui air (Maudy Dirgahayu H et al., 2024). Seiring pesatnya kemajuan teknologi, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mendegradasi limbah domestik, khususnya dalam hal penurunan parameter organik secara ramah lingkungan. Salah satu alternatif yang dinilai cukup praktis dan mudah diterapkan adalah pengolahan secara biologis, yakni dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme melalui proses aerob dan anoksik (Hamlin et al., 2008). Pendekatan ini telah banyak diuji dalam berbagai penelitian untuk menyisihkan bahan organik dan nitrogen dengan memanfaatkan biofilm. Salah satu unit pengolahan biologis yang menggunakan biofilm dengan sistem *attached growth* adalah *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR).

MBBR merupakan kombinasi pengolahan biologis yang memanfaatkan sistem *fluidized attached growth* dan *suspended growth* (mikroorganisme yang tumbuh dan berkembangbiak pada media) (Aniriani et al., 2022). Salah satu hal yang membedakan MBBR dari sistem *activated sludge* konvensional adalah tidak diperlukannya proses resirkulasi lumpur dalam operasionalnya (Metcalf & Eddy, 2014). Di samping itu, teknologi ini menawarkan sejumlah keunggulan praktis: kebutuhan lahan yang tidak terlalu besar, durasi pengolahan yang relatif singkat, kemampuan mengakomodasi variasi debit aliran, area permukaan spesifik biofilm yang luas, serta bebas dari masalah clogging maupun keharusan melakukan *backwashing* (Dezotti et al., 2017).

Sistem *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) secara aerobik–anoksik banyak digunakan dalam pengolahan limbah karena efisiensinya dalam mendegradasi tingginya bahan organik serta amonia melalui proses nitrifikasi dan denitrifikasi. Nitrifikasi pada MBBR secara aerobik–anoksik bertujuan utama untuk menghilangkan amonia (NH_3) dengan mengubahnya menjadi nitrat (NO_3^-) (Said & Sya'bani, 2014). Konversi ini secara tidak langsung membantu stabilitas proses penurunan BOD/COD dan yang terpenting, mempersiapkan kondisi untuk penghilangan nitrogen total melalui proses denitrifikasi di tahap anoksik. Proses denitrifikasi biologis perlu menyediakan sumber karbon yang cukup agar proses denitrifikasi dapat berjalan dengan lancar (Sanjrani et al., 2022). Dewasa ini, limbah domestik umumnya memiliki karakteristik sumber karbon yang tidak mencukupi dan menyebabkan proses denitrifikasi menjadi tidak optimal, sehingga mengurangi efisiensi penghilangan komponen pencemar secara keseluruhan. Penambahan *eco-enzyme* dapat menjadi solusi inovatif untuk mengatasi masalah kebutuhan sumber karbon dalam proses denitrifikasi (Zhu & Chen, 2011). Selain itu, rasio durasi pengolahan MBBR aerobik–anoksik mempengaruhi proses denitrifikasi pengolahan limbah. Rasio yang berbeda menawarkan *trade-off* antara efisiensi pengurangan karbon organik dan nitrat.

Eco-enzyme merupakan produk fermentasi limbah organik yang kaya akan senyawa karbon mudah terdegradasi, seperti alkohol, asam organik, dan enzim. Bakteri anaerob fakultatif atau yang bekerja pada proses denitrifikasi akan mengonsumsi senyawa-senyawa organik sederhana dari *eco-enzyme*. Di dalam sel bakteri, senyawa karbon dari *eco-enzyme* dioksidasi dan melepaskan elektron (e^-) juga atom hidrogen (H^+). Serangkaian enzim kemudian akan mereduksi nitrat secara bertahap. *Eco-enzyme* memiliki kandungan senyawa organik yang tinggi sehingga berpotensi sebagai sumber karbon alternatif yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan untuk mendukung kinerja bakteri denitrifikasi dalam mereduksi nitrat menjadi gas nitrogen (N_2) yang tidak berbahaya. Menurut Nazim & Meera (2013), *eco-enzyme* dinilai praktis dan tidak menimbulkan efek samping karena sebagian besar susunannya merupakan protein dan peptida. Selain itu, *eco-*

enzyme juga ramah lingkungan karena terbuat dari bahan organik terbangun, sehingga sejalan dengan prinsip pengolahan limbah berkelanjutan.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Amadea et al., (2025) membuktikan bahwa pengaruh aplikasi *eco-enzyme* dosis 1,25% dalam kondisi anaerob untuk menurunkan kadar BOD mencapai 50,4% dan penurunan COD sebesar 29%. Sedangkan pada penelitian oleh Wikaningrum & Pratamadina (2022), kadar nitrat turun sebesar 47,5% karena penggunaan *hydrolyzed molasses* dengan dosis 2,77% dan rasio durasi pengolahan aerobik–anoksik–aerobik sebesar 2:2:1 pada limbah domestik. Widyastuti et al. (2023) menyebutkan bahwa *eco-enzyme* berpotensi memberikan hasil yang cukup menjanjikan dalam pengolahan air limbah domestik hingga batas tertentu. Sayangnya, pemanfaatan *eco-enzyme* untuk keperluan pengolahan air limbah di Indonesia masih tergolong jarang, khususnya dalam kaitannya dengan aktivitas bakteri pengurai beban pencemar. Apabila terbukti mampu menurunkan kadar pencemar secara efektif, *eco-enzyme* dapat menjadi pilihan alternatif yang berkelanjutan dalam pengelolaan air limbah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi para pengelola limbah cair domestik dalam mempertimbangkan penggunaan teknologi pengolahan biologis, salah satunya *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), sebagai pendekatan yang lebih ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana efisiensi penyisihan parameter COD, BOD, dan amonia dalam air limbah domestik dengan penambahan *eco-enzyme* pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) *intermittent*?
2. Bagaimana pengaruh rasio durasi *intermittent* dan penambahan *eco-enzyme* pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) terhadap penyisihan parameter COD, BOD, dan amonia?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis efisiensi penyisihan parameter COD, BOD, dan amonia dalam air limbah domestik dengan penambahan *eco-enzyme* pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) *intermittent*
2. Menganalisis pengaruh rasio durasi *intermittent* dan penambahan *eco-enzyme* pada *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) terhadap penyisihan parameter COD, BOD, dan amonia.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat dicapai dari penelitian ini, sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan tambahan secara ilmiah dalam penggunaan teknologi pengolahan biologis khususnya sistem *attached growth*, dalam upaya menurunkan kadar zat organik di dalam air limbah.
2. Memberikan kontribusi ilmiah berupa informasi mengenai kinerja *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) dengan sistem *intermittent* dalam menurunkan kadar COD, BOD, dan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$) yang terkandung dalam limbah domestik.
3. Menjadi referensi bagi penelitian berikutnya, khususnya yang berkaitan dengan penambahan sumber karbon eksternal dan penentuan rasio *intermittent* yang paling optimal pada sistem MBBR untuk mereduksi konsentrasi parameter BOD, COD, dan amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$).

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar pembahasan tetap terarah dan tidak meluas dari batas yang telah direncanakan, perlu ditetapkan beberapa batasan ruang lingkup permasalahan sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Riset, Program Studi Teknik Lingkungan, UPN “Veteran” Jawa Timur
2. Pengujian parameter dilakukan di Laboratorium Air, Program Studi Teknik Lingkungan, UPN “Veteran” Jawa Timur

3. Sampel yang digunakan dalam penelitian merupakan limbah cair domestik yang berasal dari bak pengumpul *greywater* rusunawa Gunung Anyar Sawah
4. Penelitian ini menggunakan reaktor *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) yang dioperasikan secara aerobik–anoksik dengan penambahan *eco-enzyme* hanya pada kondisi anoksik
5. Parameter yang diteliti yaitu COD, BOD, amonia ($\text{NH}_3\text{-N}$), nitrat, DO, pH, dan suhu
6. *Eco-enzyme* yang digunakan adalah *eco-enzyme* komersial
7. Penelitian dilakukan dengan sistem *batch*.